TRANSPORTES
revistatransportes.org.br
anpet
associação nacional de pesquisa e ensino em transportes
anpet.org.br

Análise multicritério para hierarquização de indicadores de desempenho aplicada à gestão de hidrovias brasileiras

Multicriteria analysis for hierarchization of performance indicators applied to waterway management in Brazil

Kattylinne de Melo Barbosa[1], Priscila Celebrini de Oliveira Campos[2], Igor da Silva Rocha Paz[2], Marcelo de Miranda Reis[2], José Carlos Cesar Amorim[2]

[1]Universidade do Estado do Amazonas, Manaus, Amazonas – Brasil
[2]Instituto Militar de Engenharia, Rio de Janeiro, Rio de Janeiro – Brasil

contato: kdbarbosa@uea.edu.br, (KMB); priscilacelebrini@ime.eb.br, (PCOC); igorpaz@ime.eb.br, (ISRP); marceloreis@ime.eb.br, (MMR); jcamorim@ime.eb.br, (JCCA)

Recebido:
26 de agosto de 2021
Aceito para publicação:
20 de janeiro de 2023
Publicado:
03 de maio de 2023

Editor de área:
Marcio de Almeida D'Agosto

Palavras-chave:
Hidrovias.
Indicadores de desempenho.
Método AHP.

Keywords:
Waterways.
Performance indicators.
AHP method.

DOI: 10.58922/transportes.v31i1.2687

OPEN ACCESS
CC BY

RESUMO
A matriz de transportes brasileira ainda apresenta uma significativa parcela do transporte de cargas concentrada no modo rodoviário. Nesse contexto, as autoridades brasileiras têm buscado um reequilíbrio dessa matriz. Portanto, faz-se necessário o investimento em outros modos de transporte, entre eles destaca-se o modo hidroviário. Embora o Brasil possua uma das mais extensas redes hidrográficas do planeta, o transporte hidroviário ainda não é devidamente explorado no país. Isso demonstra a necessidade de desenvolver ferramentas que possam auxiliar os tomadores de decisão no desenvolvimento do transporte hidroviário brasileiro. Desta forma, este trabalho visa, primeiramente, identificar os principais indicadores de desempenho das hidrovias e, posteriormente, hierarquizar esses indicadores através do Método de Análise Hierárquica (AHP, *Analytic Hierarchy Process*). O objetivo final é gerar uma lista de prioridades com pesos associados, que servirá de informação para nortear as tomadas de decisões dos gestores das administrações hidroviárias, propiciando aumento de eficácia nesse setor. Após a aplicação do método, identificou-se maior impacto atribuído aos indicadores referentes à eficiência, em que se destaca a disponibilidade para navegação da hidrovia. Por fim, a partir da implementação desta metodologia e de seu contínuo aprimoramento, tornar-se-á possível classificar as hidrovias e apontar suas oportunidades de melhoria.

ABSTRACT
The Brazilian transportation matrix still has a significant portion of the cargo transportation concentrated in roads. In this context, Brazilian authorities have sought to rebalance this matrix. Therefore, it is necessary to invest in other modes of transportation, among which the waterway mode stands out. Although Brazil has one of the most extensive hydrographic networks on the planet, its waterway transportation is not yet properly explored. This demonstrates the need to develop tools that can assist decision makers

in the development of Brazilian waterway transportation. Thus, this work firstly aims to identify the key performance indicators of the waterways and then rank these indicators by the Analytic Hierarchy Process AHP) method. The ultimate goal is to generate a list of priorities with associated weights, which will provide information to guide the decision making of waterway administrations' managers, providing efficiency gains in this sector. After the application of the method, a greater impact attributed to the indicators related to efficiency was identified, in which the availability for navigation of the waterway stands out. And, finally, from the implementation of this methodology and its continuous improvement, it will become possible to classify the waterways and point out their improvement opportunities.

1. INTRODUÇÃO

Atualmente, no mundo, existem cerca de 623.000 km de hidrovias navegáveis, em sua maioria compostas de sistemas fluviais (redes de rios e bacias hidrográficas interconectadas). A China é o principal país com a maior rede de hidrovias navegáveis, seguida por Rússia, Brasil e EUA. As principais redes de transporte fluvial são as do Yangtze, do Reno-Danúbio e do Mississippi; sendo importante ressaltar os Canais do Panamá, ligando o Oceano Atlântico ao Pacífico através de 82 km, e de Suez, ligando o Mar Mediterrâneo ao Mar Vermelho através de 193 km de extensão no Egito (Beyer, 2018).

Quando comparado aos modos rodoviário e ferroviário, o modo de transporte hidroviário apresenta menor consumo de combustível para um mesmo volume transportado, emitindo menor quantidade de poluentes na atmosfera e uma vida útil mais alta (Ministério da Infraestrutura, 2017; Branco, Bartholomeu e Vettorazzi, 2020).

O Plano Nacional de Logística (EPL, 2020) atribuiu papel relevante para as hidrovias na futura matriz de transporte brasileira como meta para o ano de 2025. Para que esse objetivo seja alcançado faz-se necessária a inclusão das hidrovias no planejamento dos usos múltiplos das águas, como preconizado pela Lei 9.433/1997 (Brasil, 1997) que instituiu a Política Nacional de Recursos Hídricos. Nesse contexto, há um incentivo a uma maior participação do modo hidroviário na matriz de transporte brasileira.

Torna-se, portanto, necessário estabelecer métodos de medição, cujas ferramentas são os chamados indicadores de desempenho, para melhor controlar e quantificar o desempenho das hidrovias. Os indicadores de desempenho fornecem um método eficaz para apoiar processos de tomada de decisão, auxiliando no planejamento de políticas públicas, em regulamentação, qualificação e especialização dos órgãos, trabalhando as causas e efeitos que, direta e indiretamente, influenciam o alcance de metas e resultados correspondentes (Andrade, 2009).

Portanto, o estabelecimento de indicadores de desempenho para hidrovias e a criação de uma sistemática de coleta desses índices permitirá uma melhor e mais simples compreensão da realidade individual de cada prestador de serviço, facilitando o processo de gestão ao otimizar o fluxo nas hidrovias. Neste sentido, os objetivos principais deste trabalho são, inicialmente, identificar os principais indicadores de desempenho das hidrovias e, em seguida, propor a hierarquização desses indicadores através de uma Análise de Decisão Multicritério a fim de se gerar uma lista de prioridades com pesos associados e padronizar o processo de tomada de decisão, de forma a auxiliar os gestores das administrações hidroviárias. Para isso, dentre os métodos desenvolvidos no ambiente das Decisões Multicritério, propõe-se a utilização do Método de Análise Hierárquica (AHP, *Analytic Hierarchy Process*), que se baseia na divisão do problema de decisão em níveis hierárquicos para melhor compreensão e avaliação.

2. REVISÃO DA LITERATURA

Uma revisão sistemática da literatura (RSL) foi realizada a fim de documentar o estado da arte em relação à utilização de métodos multicritérios aplicados a hidrovias. A revisão baseou-se na metodologia proposta por Thomé, Scavarda e Scavarda (2016), com a busca por artigos nas bases *ISI Web of Science* e *Scopus* utilizando os seguintes grupos de palavras-chave: (1) *multicriteria AND waterways*; (2) *AHP AND transport*; (3) *AHP AND waterways*; (4) *AHP AND transport AND waterways*. O primeiro grupo abrange a aplicação de métodos multicritérios a hidrovias, o segundo destaca a aplicação do método AHP aos sistemas de transportes; o terceiro indica a aplicação do método AHP a hidrovias e o quarto destaca as aplicações similares às dessa pesquisa (AHP aplicado a hidrovias utilizadas para transporte).

Após a realização da pesquisa nas bases selecionadas, o resultado retornou 179 artigos no *ISI Web of Science* e 186 no *Scopus*. Em seguida, foram eliminados os artigos duplicados, obtendo-se como resultado um total de 293 artigos científicos.

Destacam-se nas produções analisadas, no contexto do modo aquaviário, a predominância de estudos aplicados aos portos (Hossain et al., 2019; Oliveira e Silva, 2021; Rodrigues et al., 2020; Saengsupavanich et al., 2009; Sandrini Perin et al., 2020; Wiśnicki et al., 2021; Zalewski Porto, 2019). Tanto no Brasil quanto internacionalmente, os poucos estudos de indicadores de desempenho de portos estão principalmente voltados para o desempenho ambiental (Peris-Mora et al., 2005; Saengsupavanich et al., 2009; Figueiredo, Valois e Marinho, 2016; Lim et al., 2019; Hua et al., 2020; Molavi, Lim e Race, 2020). Saengsupavanich et al. (2009) analisaram os procedimentos da ISO14001 e o controle do estado do porto por indicadores de desempenho ambiental específicos para portos. Hua et al. (2020) utilizaram o método de Análise Importância-Desempenho Difusa (FIPA, do inglês *Fuzzy Importance-Performance Analysis*) para avaliação de desempenho do Porto de Zhumai (China) com base em indicadores sustentáveis.

No entanto, poucos são os estudos encontrados nas bases selecionadas relacionados à aplicação do método multicritério AHP e indicadores de desempenho para hidrovias (Lameira et al., 2020; Oliveira e Silva, 2021; Pires Junior e de Carvalho, 2013). No Brasil, Pires Junior e de Carvalho (2013) conduziram um estudo aplicado ao projeto hidroviário da Ilha de Marajó por meio da utilização do método AHP para análise de investimento em projetos de infraestrutura hidroviária, considerando a eficiência alocativa, efeito no desenvolvimento regional e o impacto ambiental. Lameira et al. (2020) apresentaram um estudo para avaliar e seleção de configuração de barcaças para comboios para escoamento de minério de ferro no trecho Marabá - Vila do Conde na região amazônica, adotando os métodos AHP, *Decision-making Trial and Evaluation Laboratory* (DEMATEL) e *Elimination and Choice Expressing Reality IV* (ELECTRE IV). Oliveira e Silva (2021) aplicaram o método AHP para análise de aptidão ambiental para alocação de terminais hidroviários na região de Lagoa Mirim no estado do Rio Grande do Sul. De acordo com os autores, a utilização de *softwares* mostrou-se uma importante ferramenta para organização, padronização e processamento de informações, por abordar problemas complexos em sintetizar resultados de fácil visualização que auxiliam na tomada de decisão.

Ampliando-se a pesquisa além das bases *ISI Web of Science* e *Scopus*, os principais indicadores de desempenho de hidrovias encontrados na literatura nacional e internacional são os indicadores de desempenho nacional propostos pelo Tribunal de Contas da União (TCU, 2006) e os internacionais definidos pela Associação Mundial de Pesquisa para Infraestrutura de Transportes Fluvial (PIANC, 2010) – e por artigos científicos (Su e Rogers, 2012; Garcia et al., 2019; Du, Goerlandt

e Kujala, 2020). Com base nos indicadores utilizados pelas Administradoras Hidroviárias, o TCU (2006) propôs a padronização dos indicadores de desempenho para todas as hidrovias brasileiras, visando subsidiar o gerenciamento do Programa Manutenção de Hidrovias.

A PIANC (2010) reuniu os melhores especialistas internacionais em questões técnicas, econômicas e ambientais relacionados à infraestrutura de transporte através da água, com a inclusão dos governos nacionais e as autoridades públicas, empresas e pessoas interessadas na área, e propuseram indicadores de desempenho atribuídos a nove áreas (dimensões) de aplicação: (1) Infraestrutura; (2) Portos; (3) Meio ambiente; (4) Frota e Veículos; (5) Carga e Passageiros; (6) Tecnologia da Informação e Comunicação; (7) Desenvolvimento Econômico; (8) Prevenção de Acidentes; e (9) Segurança. Nessas nove áreas, foram desenvolvidos indicadores de desempenho com formulações, objetivos, metas, modo de medição, aplicabilidade e periodicidade.

Su e Rogers (2012) examinaram a eficiência de transporte dos países da Organização para a Cooperação e Desenvolvimento Econômico (OCDE) utilizando Análise Envoltória de Dados (DEA, *Data Envelopment Analysis*), tomando como indicadores de desempenho distribuídos em duas grandes áreas: (1) Econômica e (2) Ecológica/Ambiental.

Garcia et al. (2019) analisaram o desempenho do transporte de soja do Mato Grosso para exportação e, para isso, apresentaram indicadores de desempenho de sistemas de transportes (incluindo o hidroviário), abordando o conceito de sustentabilidade, distribuídos em três áreas (dimensões): (1) Ambiental; (2) Econômica; e (3) Social.

Du, Goerlandt e Kujala (2020) fizeram uma revisão crítica do estado da arte dos métodos de avaliação da segurança hidroviária com base na detecção de eventos críticos não acidentais a partir de dados de Sistema de Identificação Automática (AIS, *Automatic Identification System*). Portanto, os indicadores de desempenho abordados nesse estudo foram principalmente vinculados a duas áreas: (1) Prevenção de Acidentes e (2) Segurança.

Portanto, através da revisão da literatura, percebe-se a necessidade de se identificar e hierarquizar os indicadores de desempenho mais adequados para aplicação na gestão de hidrovias brasileiras, que será realizado neste estudo com o auxílio do Método AHP.

3. MATERIAIS E MÉTODOS

3.1. Hidrovias brasileiras

O Brasil dispõe de uma das maiores redes hidrográficas do planeta, com aproximadamente 63 mil quilômetros de extensão, 40.000 km são de rios, lagos e lagoas potencialmente navegáveis, dos quais 29.000 km são navegáveis, e desses, apenas 13.000 km são realmente navegados, sendo que a Bacia Amazônica por si só abrange cerca da metade das vias navegáveis do território brasileiro (CNT, 2019). Porém, para se ter a plena navegação durante todo o ano, são necessárias intervenções como a construção de barragens, eclusas, transposição, dragagem e portos que possibilitem a integração intermodal (Ministério da Economia, 2021).

O país é dividido em 12 regiões Hidrográficas: Amazônica, Atlântico Nordeste Ocidental, Atlântico Nordeste Oriental, Atlântico Leste, Atlântico Sudeste, Atlântico Sul, do Tocantins-Araguaia, do Parnaíba, do São Francisco, do Paraguai, do Paraná, e do Uruguai (CNRH, 2003).

Dentre as principais Hidrovias Brasileiras destacam-se: Hidrovia Solimões-Amazonas, Hidrovia do Madeira, Hidrovia Tapajós-Teles Pires, Hidrovia Tocantins-Araguaia, Hidrovia

Paraná-Tietê, Hidrovia Paraguai-Paraná, Hidrovia do Sul, Hidrovia do Parnaíba e Hidrovia do São Francisco (Canellas, 2017).

3.2. Indicadores de desempenho para gestão logística de hidrovias

De forma geral, os indicadores de desempenho devem ser utilizados em função das seguintes finalidades: i) Gerenciamento dos órgãos de gestão; ii) Tomada de decisões; iii) Comparação com outros modais; e iv) Informações para entidades governamentais, órgãos de financiamento e público em geral. Para a definição dos indicadores de desempenho propostos a este trabalho, foi feita a seleção de indicadores propostos pelos estudos citados anteriormente (Du et al., 2020; Garcia et al., 2019; PIANC, 2010; Su e Rogers, 2012; TCU, 2006), subdivididos nas seguintes dimensões que são influentes no desempenho das hidrovias brasileiras: Confiabilidade (CON), Eficiência (EFE), Economicidade (ECO) e Nível de Serviço (NSV), conforme a Tabela 1. Esta escolha procurou adequar a lista total de indicadores às características e particularidades das hidrovias brasileiras.

Tabela 1: Indicadores de desempenho propostos para hidrovias brasileiras de acordo com as dimensões de Confiabilidade, Eficiência, Economicidade e Nível de Serviço

Dimensão	Descrição	Indicadores
Confiabilidade (CON)	Capacidade de sistema, produto ou serviço desempenhar suas funções como esperado em um determinado intervalo de tempo (Slack, Chambers e Johnston, 2002; Martins e Laugeni, 2005)	Roubos (CON1) Preservação ambiental (CON2) Prevenção de acidentes (CON3)
Eficiência (EFE)	Otimização de recursos financeiros, materiais e de pessoas na obtenção de resultados (Frasson, 2001). Essa medida possui relação com produtividade, ou seja, o quanto se consegue produzir com os meios disponibilizados (PIANC, 2010)	Utilização da capacidade de armazenamento (EFE1) Tecnologia (EFE2) Disponibilidade para navegação (EFE3) Utilização das eclusas (EFE4)
Economicidade (ECO)	Desempenho qualitativo, no qual é obtido o melhor resultado possível de uma alocação de recursos (Bugarin, 1998)	Consumo de combustível (ECO1) Desenvolvimento econômico (ECO2) Transporte de cargas (ECO3) Custos de manutenção (ECO4)
Nível de Serviço (NSV)	Função de medir satisfação e atendimento aos clientes por meio de dimensões ou elementos (Mentzer, Gomes e Krapfel, 1989; Marchesini e Alcântara, 2012)	Tempo de espera para o serviço (NSV1) Qualidade percebida (NSV2) Satisfação do usuário (NSV3)

Onde:

- Roubos (CON1): este indicador avalia a quantidade de roubos ocorridos em relação ao volume de carga transportada, nos quais se incluem no cálculo a perda ou o dano atrelado ao roubo de veículos ou recursos;
- Preservação ambiental (CON2): este indicador é avaliado de acordo com a poluição, segundo i) o volume crítico de poluição do ar e da água devido à construção de hidrovia; ii) o volume crítico de poluição do ar e da água, devido a manutenção das vias navegáveis; iii) a emissão de poluentes no ar; e iv) o esgoto por transporte de carga;
- Prevenção de acidentes (CON3): mede o número de acidentes em um trecho da hidrovia e determina o desempenho desta, em termos de risco para o ambiente e de inocentes;
- Utilização da capacidade de armazenamento (EFE1): o objetivo principal deste indicador é calcular a capacidade de armazenamento dos portos por cada categoria, grupo de commodities, modo ou tipo de transbordo;
- Tecnologia (EFE2): mensura o grau de disponibilidade (%) do componente AIS (Automatic Identification System);

- Disponibilidade para navegação (EFE3): este indicador apresenta detalhes sobre a disponibilidade para navegação da hidrovia. Ele abrange a disponibilidade do canal principal (em número de dias navegáveis por ano), considerando paradas de navegação devido a cheia, estiagem e acidentes;
- Utilização das eclusas (EFE4): este indicador é composto pelo número médio de ativações de eclusas por hora de operação, a utilização média da capacidade de eclusas por câmara e o tempo médio de espera na frente da eclusa;
- Consumo de combustível (ECO1): usado para descrever a eficiência do combustível de tipos de embarcações e motores, o que permite a comparação direta de diferentes tipos de motores;
- Desenvolvimento econômico (ECO2): este indicador está associado ao número de empregos diretos (carga) e indiretos (transporte de cargas) gerados, ao desenvolvimento do volume total de transporte de carga, e ao volume de negócios de transporte de carga do Produto Interno Bruto (PIB) anual;
- Transporte de cargas (ECO3): este indicador busca avaliar o desenvolvimento do desempenho do transporte de carga do trecho hidroviário considerando o número de viagens a montante e a jusante de acordo com grupos de mercadorias NSTR (nomenclatura uniforme de mercadorias para as estatísticas de transportes) e com os modos de transbordo. Pode ser medido em porcentagem, tonelada-quilômetro ou toneladas;
- Custos de manutenção (ECO4): esse indicador fornece o levantamento de custos de manutenção e poderá auxiliar o gestor no planejamento das intervenções de manutenção e no acompanhamento da evolução ao longo do tempo. Além disso, fornecerá elementos para que o gestor negocie parcerias com os usuários;
- Tempo de espera para o serviço (NSV1): este indicador analisa o tempo médio decorrido entre a chegada de uma embarcação em um porto e o início das atividades de transbordo;
- Qualidade percebida (NSV2): avalia a qualidade percebida das mercadorias e do transporte ao longo das vias navegáveis interiores, correspondente à percentagem das atividades de operação de transporte que foram realizadas sem desvio do contrato;
- Satisfação do usuário (NSV3): é uma medida qualitativa obtida através de pesquisa de satisfação.

3.3. Método de decisão multicritério

Os métodos de decisão multicritérios são capazes de auxiliar tomadores de decisão face a problemas que apresentam alternativas (soluções) e critérios (indicadores) (Campos et al., 2020; Gnanavelbabu e Arunagiri, 2018; Karolemeas et al., 2021; Lourenzutti e Krohling, 2015; Paz et al., 2022; Solecka e Kiciński, 2022). Para fazer a hierarquização dos indicadores propostos, foram inicialmente estudados os métodos *Analytic Hierarchy Process* (AHP) (Gnanavelbabu e Arunagiri, 2018; Lameira et al., 2020; Saaty, 1977), *Multiplicative Analytic Hierarchy Process* (MAHP) (Lootsma, 1993; Pereira et al., 2021) e *Élimination et Choix Traduisant la Réalité* (ELECTRE) (Lameira et al., 2020; Roy, 1968). O método AHP foi escolhido para este estudo por ser uma ferramenta de tomada de decisão gerencial, permitindo uma análise sistêmica de todos os indicadores.

O método se baseia no método newtoniano e cartesiano de pensar, que busca tratar a complexidade com a decomposição e divisão do problema em fatores, que podem ainda ser decompostos em novos fatores até ao nível mais baixo, claros e dimensionáveis e estabelecendo relações para depois sintetizar. Dessa forma, segundo Costa e Corrêa (2010), este método é baseado em três etapas de pensamento analítico:

- Construção de hierarquias: o problema é estruturado em níveis hierárquicos, o que facilita a melhor compreensão e avaliação do mesmo.
- Definição de prioridades: após a montagem da hierarquia, inicia-se a análise dos elementos integrantes do processo. Os elementos são comparados, par a par, por especialistas, facilitando a percepção dos mesmos. Essa comparação dos elementos é apresentada através de formulários, que utilizam como critérios de comparação uma escala de valores proposta por Saaty (1991; 2008), conforme exposta na Tabela 2.

Tabela 2: Escala numérica para comparação dos indicadores de acordo com o método AHP (Saaty, 1991; 2008)

Escala numérica	Escala verbal	Descrição
1	Mesma importância	Ambos os elementos contribuem com o objetivo de igual forma
3	Importância pouco maior	A experiência e a opinião favorecem um elemento sobre o outro
5	Importância maior	Um elemento é fortemente favorecido
7	Importância muito maior	Um elemento é muito fortemente favorecido sobre o outro
9	Importância absoluta	Um elemento é favorecido pelo menos com uma ordem de magnitude de diferença
2, 4, 6, 8	Valores intermediários entre as opiniões adjacentes	Usados como valores de consenso entre as opiniões

A partir, então, do preenchimento desses formulários pelos especialistas, elabora-se a matriz de comparação (A) de n elementos de acordo com a Equação 1:

$$A = [a_{ij}] \tag{1}$$

onde seguindo a escala de valores proposta por Saaty (1991), para as linhas i e as colunas j da matriz A, $a_{ij} = {}^{1}/_{a_{ji}}$ e $a_{ii} = 1$, para quaisquer i e j inteiros de $1 \leq$ i $\leq$ n e $1 \leq$ j $\leq$ n.

- Consistência lógica: esta terceira etapa consiste no cálculo dos pesos dos componentes dentro da hierarquia, assim como da consistência dos julgamentos dos participantes. Com os dados inseridos na matriz de comparação, obtêm-se os autovetores e autovalores.

Para isso, primeiramente, somam-se os elementos de cada coluna da matriz A e divide-se cada elemento da matriz A pelo somatório de sua respectiva coluna. Esses novos valores serão os elementos da matriz A' denominada matriz normalizada:

$$A' = [a'_{ij}] \tag{2}$$

onde $a'_{ij} = {}^{a_{ij}}/_{\sum_{k=1}^{n} a_{ik}}$, para quaisquer i e j inteiros de $1 \leq$ i $\leq$ n e $1 \leq$ j $\leq$ n.

Em seguida, calculam-se as médias geométricas de cada uma das linhas da matriz normalizada A', gerando os elementos do autovetor ($A - vetor$):

$$A - vetor = [w_i] \tag{3}$$

onde $w_i = \left(\prod_{j=1}^{n} a'_{ij}\right)^{1/n}$, para qualquer i inteiro de $1 \leq$ i $\leq$ n.

Então, normaliza-se o autovetor ($A - vetor$), obtendo-se o autovetor normalizado ($A - Norm$), cujos elementos são os pesos médios de cada indicador:

$$A - Norm = [w'_i] \tag{4}$$

onde $w'_i = \frac{\left(\prod_{j=1}^{n} a'_{ij}\right)^{1/n}}{\sum_{i=1}^{n}\left(\prod_{j=1}^{n} a'_{ij}\right)^{1/n}} = \frac{w_i}{\sum_{i=1}^{n} w_i}$, para qualquer i inteiro de $1 \leq$ i $\leq$ n.

Quanto à consistência, esse é um parâmetro importante para a tomada de decisão com base no método AHP. É através do Resultado de Consistência (RC) que se define se os pesos calculados são aceitáveis ou não. Saaty (1991) estabeleceu o valor de $RC < 0{,}1$ como aceitável. Calcula-se RC através da Equação 5:

$$RC = {}^{IC}/_{IR} \tag{5}$$

onde IR é o Índice Randômico Médio do método AHP, definido por Saaty (1991) em função do tamanho da matriz (n) (ver Tabela 3), e IC é o Índice de Consistência definido como:

$$IC = {}^{\lambda_{Max} - n}/_{n-1} \tag{6}$$

onde $\lambda_{Max} = \frac{\sum_{i=1}^{n} {}^{[\mathrm{A}\times A-Norm]_i}/_{\lambda_{Max}-n}}{n} = \frac{\sum_{i=1}^{n} v_i}{n}$ é o denominado de máximo autovalor da matriz de comparação (A) e é definido como a média dos elementos do vetor $\mathrm{V} = [v_i]$, que é resultante da divisão de cada elemento da multiplicação da matriz de comparação (A) pelo vetor de pesos ($A - Norm$) divido pelos elementos do vetor de pesos nas respectivas posições (w'_i).

Tabela 3: Índices randômicos médios do método AHP em função do tamanho *N* da matriz

N	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15
IR	0,00	0,00	0,58	0,90	1,12	1,24	1,32	1,41	1,45	1,49	1,51	1,48	1,56	1,57	1,59

Após verificada a aplicabilidade do método AHP, diversos são os programas que realizam a tarefa de hierarquização dos indicadores, como por exemplo, o *Maple Professional*, o *Web-HIPRE*, MACBETH e o *Expert Choice*. Neste trabalho, optou-se pela adoção do aplicativo *Expert Choice 11* (ExpertChoice, 2014) (primeiro *software* desenvolvido para método AHP) para uma hierarquização absoluta devido à gratuidade de instalação e à fácil aplicabilidade para tomada de decisão (Weng, Chen e Li, 2019). O *software* é projetado para ajudar os tomadores de decisão a superar os limites da mente humana para sintetizar entradas qualitativas e quantitativas de várias partes interessadas, permitindo a priorização dos objetivos e avaliação de alternativas, de forma profissional e completa, em torno de importantes decisões organizacionais.

4. RESULTADOS E DISCUSSÕES

O estudo de indicadores de desempenho para modo de transporte hidroviário visa proporcionar subsídios para a melhoria do transporte fluvial. Todavia, para que se tenha uma melhor visão das dificuldades em que o setor está inserido, é necessário um embasamento científico. A proposição de indicadores de desempenho adequados surge como ferramenta propícia para esse embasamento, oferecendo um diagnóstico profundo do que deve ser melhorado. Além de indicar e informar, os indicadores auxiliam nas tomadas de decisão, influenciando no planejamento das políticas públicas, na regulamentação, qualificação e especialização do setor, além de fornecer alinhamento conceitual aos usuários.

Com a escolha do método AHP e do *software Expert Choice 11*, para a hierarquização dos indicadores de desempenho, o estudo proposto servirá para apresentar a aplicabilidade deste método para hidrovias.

Foram definidos primeiramente os fatores e os indicadores de desempenho que, de modo geral, podem ser aplicados às hidrovias brasileiras. Esses indicadores foram distribuídos nas seguintes áreas (ou dimensões): Confiabilidade (CON), Eficiência (EFE), Economicidade (ECO), e Nível de Serviço (NSV). Com os indicadores definidos, foram criados questionários de pesquisa e enviados a 14 especialistas (órgão regulador, administradora hidroviária, empresa atuante na Hidrovia, professores universitários e público em geral), onde comparavam-se os indicadores par a par, sendo atribuídos pesos para a comparação dos indicadores. Com a coleta de dados através do questionário respondido pelos especialistas, inicialmente os dados são processados em planilha eletrônica, para obtenção dos autovalores, dos autovetores e da matriz normalizada com os pesos médios de cada indicador de acordo com o método AHP.

Na planilha eletrônica, em que constavam os critérios e as alternativas, foram lançados os pesos conforme respostas dos especialistas para cada indicador e para os fatores. Com o lançamento dos dados, o cálculo compreendeu o somatório dos elementos de cada coluna e a divisão de cada elemento da coluna pelo respectivo somatório, resultando na chamada matriz normalizada (ver Equação 2). Em seguida, calculavam-se o Autovetor ($A - vetor$, ver Equação 3, sendo a média geométrica dos pesos atribuídos (matriz normalizada), e $A - Norm$ (ver Equação 4), que é o autovetor do indicador específico dividido pela soma do autovetor de todos os indicadores. O resultado do $A - Norm$ é, portanto, o peso médio de cada indicador. A Tabela 4 apresenta, a título de ilustração da planilha eletrônica, a resposta de um especialista consultado, por grupos de indicadores de mesma dimensão.

Tabela 4: Demonstrativo da utilização da planilha eletrônica para um especialista

Dimensões	CON	EFE	ECO	NSV	A-Vetor	A-Norm
Confiabilidade (CON)	1	0,14	0,14	0,20	0,25	0,051
Eficiência (EFE)	7	1	1	1	1,63	0,325
Economicidade (ECO)	7	1	1	1	1,63	0,325
Nível de Serviço (NSV)	5	1	1	1	1,50	0,299
Auto-V	20	3,14	3,14	3,20	5,00	1,000

No caso da Tabela 4, o especialista respondeu que os indicadores de Eficiência e Economicidade possuem mesma importância ao responder com o peso 1 (ver Tabela 2, referente aos pesos). Outro exemplo é relacionado aos indicadores de Nível de Serviço e Confiabilidade, onde o mesmo especialista informou que o Nível de Serviço possui importância maior que a Confiabilidade. Em seguida, os valores médios dos A-Norm obtidos para cada dimensão (Confiabilidade, Eficiência, Economicidade e Nível de Serviço) via planilha eletrônica para os 14 especialistas foram calculados, conforme Tabela 5. Observa-se que a Eficiência foi a dimensão (ou indicador macro) com maior importância, demonstrando ser ainda a maior preocupação das empresas, administradoras e estudiosos da área.

Tabela 5: Valores médios dos A-Norm obtidos para os 14 especialistas

Dimensões	A-Norm médio
Confiabilidade (CON)	0,2185
Eficiência (EFE)	0,3450
Economicidade (ECO)	0,2445
Nível de Serviço (NSV)	0,1920

Com essas informações, foi aplicado o *software Expert Choice 11* para obtenção de uma hierarquização absoluta, gerando uma planilha eletrônica para definição da importância relativa dos vários indicadores, com intervalos de variações. A Tabela 6 apresenta os resultados obtidos com o *Expert Choice 11*.

Tabela 6: Resultado da Hierarquização pelo *software Expert Choice 11*

Indicadores	Pesos
Disponibilidade para navegação (EFE3)	16,16%
Prevenção de Acidentes (CON3)	10,00%
Tempo de Espera do Serviço (NSV1)	9,64%
Desenvolvimento Econômico (ECO1)	8,80%
Preservação Ambiental (CON2)	8,14%
Transporte de Cargas (ECO3)	7,60%
Utilização da Capacidade de Armazenamento (EFE1)	7,30%
Tecnologia (EFE2)	6,80%
Qualidade Percebida (NSV2)	4,82%
Satisfação do Usuário (NSV3)	4,74%
Consumo de Combustível (ECO1)	4,26%
Utilização das eclusas (EFE4)	4,24%
Custos de Manutenção (ECO4)	3,79%
Roubos (CON1)	3,71%

Com a resposta dos especialistas, e o percentual de cada indicador calculado, obteve-se a média de cada indicador dos 14 especialistas. Os pesos finais dos indicadores, fundamentais para a hierarquização definitiva, foram obtidos pela média aritmética de todos os pesos das respostas dos entrevistados.

Em seguida, partindo dos dados obtidos pela pesquisa com os especialistas no emprego do AHP, como alternativa ao aplicativo *Expert Choice* (que determina apenas uma hierarquização absoluta) na modelagem da avaliação da importância, foi utilizada uma planilha eletrônica. Esse procedimento possibilita mais que uma hierarquização absoluta, pois permite uma importância relativa para os vários indicadores, com intervalos de variações. Além disso, foi elaborada também uma estatística básica dos parâmetros analisados, cujos resultados são apresentados na Tabela 7.

Tabela 7: Média, desvio padrão, erros e variações realizados pela planilha eletrônica

Indicadores	Média	Desvio padrão	Erro padrão	Erro admissível	Valor mínimo	Valor máximo
CON1	16,98%	16,10%	4,30%	4,30%	12,67%	21,28%
CON2	37,24%	17,68%	4,72%	4,72%	32,51%	41,96%
CON3	45,79%	17,01%	4,55%	4,55%	41,24%	50,33%
EFE1	21,16%	10,68%	2,85%	2,85%	18,31%	24,02%
EFE2	19,72%	9,18%	2,45%	2,45%	17,26%	22,17%
EFE3	46,83%	12,23%	3,27%	3,27%	43,57%	50,10%
EFE4	12,29%	4,26%	1,14%	1,14%	11,15%	13,43%
ECO1	17,42%	15,01%	4,01%	4,01%	13,41%	21,43%
ECO2	35,99%	17,70%	4,73%	4,73%	31,26%	40,72%
ECO3	31,11%	15,72%	4,20%	4,20%	26,90%	35,31%
ECO4	15,48%	14,31%	3,83%	3,83%	11,66%	19,31%
NSV1	50,22%	24,03%	6,42%	6,42%	43,79%	56,64%
NSV2	25,09%	11,13%	2,98%	2,98%	22,11%	28,06%
NSV3	24,69%	20,39%	5,45%	5,45%	19,25%	30,14%

Com os valores médios, máximos e mínimos, multiplicaram-se os valores achados com seu indicador macro respectivo para enfim serem apresentados os pesos com a hierarquização dos indicadores. No indicador macro “Confiabilidade”, o valor médio do Roubo (16,98%, ver Tabela 7) foi multiplicado pelo valor médio do indicador da Confiabilidade (21,85%, ver Tabela 5), obtendo o

valor final médio de 3,71%. E desta forma foi feito o cálculo para todos os indicadores, obtendo a hierarquização final conforme demonstrado na Tabela 8.

Da comparação entre os resultados obtidos pelo aplicativo *Expert Choice 11* (Tabela 6) e os calculados com uso de planilha eletrônica (Tabela 8), pode-se observar uma boa compatibilidade nas respostas, com médias praticamente iguais. No entanto, destaca-se que a planilha eletrônica foi de grande importância para verificação dos indicadores, visto que os mesmos não são valores absolutos conforme demonstrado no *Expert Choice 11*. A planilha eletrônica apresentou as variações dos pesos médios, sendo que estes valores sofreram em alguns indicadores alterações em relação ao *software*. Esta variação se deu devido a diferença nas respostas dos especialistas, que possuem sua visão de acordo com a vivência do ambiente atuante.

Tabela 8: Pesos dos indicadores obtidos pela planilha eletrônica

Indicadores	Média	Mínimo	Máximo
Roubos (CON1)	16,98%	12,67%	21,28%
Preservação ambiental (CON2)	37,24%	32,51%	41,96%
Prevenção de acidentes (CON3)	45,79%	41,24%	50,33%
Utilização da capacidade de armazenamento (EFE1)	21,16%	18,31%	24,02%
Tecnologia (EFE2)	19,72%	17,26%	22,17%
Disponibilidade da infraestrutura da hidrovia (EFE3)	46,83%	43,57%	50,10%
Utilização das eclusas (EFE4)	12,29%	11,15%	13,43%
Consumo de combustível (ECO1)	17,42%	13,41%	21,43%
Desenvolvimento econômico (ECO2)	35,99%	31,26%	40,72%
Transporte de cargas (ECO3)	31,11%	26,90%	35,31%
Custos de manutenção (ECO4)	15,48%	11,66%	19,31%
Tempo de espera para o serviço (NSV1)	50,22%	43,79%	56,64%
Qualidade percebida (NSV2)	25,09%	22,11%	28,06%
Satisfação do usuário (NSV3)	24,69%	19,25%	30,14%

Cabe ressaltar que foi realizada a análise de consistências para cada pesquisa dos 14 especialistas, tendo sido obtidos valores de RC entre 0,02 e 0,09 (todos menores que 0,1; portanto, aceitáveis), conforme Equações 5 e 6. Assim, ficou demonstrado a coerência e o conhecimento dos especialistas que responderam ao questionário proposto. Pode-se concluir ainda que eles entenderam com clareza todas as comparações entre os indicadores. As maiores variações, em relação à média das respostas dos especialistas, ocorreram nas respostas das empresas que operam hidrovias e dos professores universitários. Isto mostra que apesar de uma homogeneidade nas respostas existe um viés relacionado ao tipo de atividade do entrevistado.

5. CONCLUSÕES

A contribuição deste artigo é a identificação dos indicadores de desempenho mais adequados ao emprego na gestão de hidrovias brasileiras, bem como a avaliação da importância destes, com a utilização do Método de Análise Hierárquica (AHP). O referido método tem como característica comparar par a par todos os indicadores selecionados, a partir de entrevistas promovidas com especialistas da área atuantes diretamente e indiretamente com hidrovias.

Como resposta final ao estudo apresentado, verificou-se que existe uma tendência na priorização dos indicadores relacionados à eficiência. A evidência de tal fato pode ser comprovada a partir da análise dos indicadores hierarquizados com maiores pesos absolutos, onde, a disponibilidade para navegação da hidrovia foi caracterizada como o indicador mais importante na análise dos especialistas. Essa tendência é explicada devido à preocupação de disponibilidade da

hidrovia para a navegação, em vista da sazonalidade das características hidrológicas, apresentando períodos de cheia e de estiagem.

Estabeleceu-se um conjunto hierarquizado de indicadores de desempenho adequados às hidrovias brasileiras, que pode ser útil para os órgãos reguladores e as administrações hidroviárias analisarem a prioridade de seus processos decisórios em um método matemático de comparação, bem como para profissionais interessados em utilizar o método AHP, como ferramenta de controle, em diversas áreas de interesse.

É importante destacar que, para uma resposta efetiva e validação da metodologia, será necessária uma divulgação a todos os atores dos benefícios, objetivos e da natureza dos indicadores de desempenho, assim como aplicar tal estudo ao maior número possível de hidrovias brasileiras. Só assim, as respostas serão consistentes e haverá uma efetiva participação de todos os interessados.

O processo de melhoria de hidrovias a partir de uma gestão com uso de indicadores deve ser dinâmico e sistemático. Assim, faz-se necessário o monitoramento através da Agência Nacional de Transportes Aquaviários (ANTAQ) para que os indicadores sejam aplicados efetivamente. Como resultado, será possível a classificação das hidrovias em um determinado tempo, isto é, será realizada uma classificação dessas e serão mostrados os itens em que as hidrovias são deficientes e apresentam possibilidade de melhoria em termos de investimentos em infraestrutura, manutenção, pessoal, nível de serviço e melhor atendimento.

Por fim, destaca-se que a presente metodologia é replicável para demais modos de transporte, adequando os indicadores de desempenho às suas peculiaridades, podendo-se inclusive estudar a utilização de outros métodos de análise multicritério, como o ELECTRE, MAHP ou outros associados a redes neurais.

AGRADECIMENTOS

O presente trabalho foi realizado com apoio da Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior – Brasil (CAPES) – Código de Financiamento 001.

REFERÊNCIAS

Andrade, C.E.S. (2009) *Avaliação do Desempenho de Sistemas Metroferroviários sob a Ótica da Qualidade dos Serviços Prestados aos Usuários: Aplicação no Metrô do Rio de Janeiro*. Dissertação (mestrado). Programa de Pós-graduação em Engenharia de Transportes, Universidade Federal do Rio de Janeiro, RJ. Disponível em: <https://pet.coppe.ufrj.br/images/documentos/dissertacoes/2009/Dissertacao_CarlosEduardoSanchesDeAndrade.pdf> (acesso em 20/01/2023).

Beyer, A. (2018) Inland waterways, transport corridors and urban waterfronts. In *International Transport Forum Discussion Papers*. Paris, França: OECD Publishing. p. 17.

Branco, J.E.H., D.B. Bartholomeu e A.C. Vettorazzi (2020) Avaliação das emissões de CO2 na etapa de transporte do etanol: aplicação de um modelo de otimização, *Transportes*, v. 28, n. 1, p. 63-80. DOI: 10.14295/transportes.v28i1.1856.

Brasil (1997) Lei nº 9.433, de 8 de janeiro de 1997. *Diário Oficial da República Federativa do Brasil*. Brasília. Disponível em: <https://www.planalto.gov.br/ccivil_03/leis/l9433.htm> (acesso em 20/01/2023).

Bugarin, P.S. (1998) Reflexões sobre o princípio constitucional da economicidade e o papel do TCU, *Revista do Tribunal de Contas da União*, v. 29, p. 41-5.

Campos, P.C.O.; T.S.R. Paz; L. Lenz et al. (2020) Multi-criteria decision method for sustainable watercourse management in urban areas, *Sustainability (Basel)*, v. 12, n. 16, p. 6493. DOI: 10.3390/su12166493.

Canellas, A.M. (2017) Hidrovias brasileiras. Rio de Janeiro: Federação Nacional dos Trabalhadores em Transportes Aquaviários e Afins. Disponível em: <http://fnttaa.org.br/website/aquaviarios-navegacoes/hidrovias/798-hidrovias-brasileiras> (acesso em 20/01/2023).

CNRH (2003) Resolução n° 32, de 15 de outubro de 2003. Brasília: Conselho Nacional de Recursos Hídricos. Disponível em: <https://www.ceivap.org.br/ligislacao/Resolucoes-CNRH/Resolucao-CNRH%2032.pdf> (acesso em 15/03/2021).

CNT (2019) Pesquisa CNT da Navegação Interior 2013. Disponível em: <https://cnt.org.br/agencia-cnt/pesquisa-navegacao-interior> (acesso em 20/01/2023).

Costa, H.G. e P.S. Corrêa (2010) Construction of an AHP-based model to catch criteria weights in post-occupancy evaluation, *International Journal of the Analytic Hierarchy Process*, v. 2, n. 1, p. 30-43. DOI: 10.13033/ijahp.v2i1.71.

Du, L.; F. Goerlandt e P. Kujala (2020) Review and analysis of methods for assessing maritime waterway risk based on non-accident critical events detected from AIS data, *Reliability Engineering & System Safety*, v. 200, p. 106933. DOI: 10.1016/j.ress.2020.106933.

EPL (2020) Plano Nacional de Logística – 2025. Disponível em: <https://www.epl.gov.br/plano-nacional-de-logistica-2025> (acesso em 20/01/2023).

ExpertChoice (2014) *Expert Choice version 11*. Arlington, EUA: ExpertChoice.

Figueiredo, E.J.A.; N.A.L. Valois e M.M.O. Marinho (2016) Desafios e oportunidades dos indicadores de desempenho ambiental da agência nacional de transportes aquaviários para portos organizados marítimos: uma análise sob a percepção dos gestores ambientais portuários, *Revista Eletrônica de Gestão e Tecnologias Ambientais*, v. 4, n. 2, p. 155-168. DOI: 10.9771/gesta.v4i2.14425.

Frasson, I. (2001) *Critérios de eficiência, eficácia e efetividade adotados pelos avaliadores de instituições não-governamentais financiadoras de projetos sociais*. Dissertação (mestrado). Programa de Pós-graduação em Engenharia de Produção, Universidade Federal de Santa Catarina, Florianópolis, SC.

Garcia, B.T.G.; D.M.M. Lopes; I.C. Leal Junior et al. (2019) Analysis of the performance of transporting soybeans from mato grosso for export: a case study of the Tapajós-Teles Pires Waterway, *Sustainability (Basel)*, v. 11, n. 21, p. 6124. DOI: 10.3390/su11216124.

Gnanavelbabu, A. e P. Arunagiri (2018) Ranking of MUDA using AHP and Fuzzy AHP algorithm, *Materials Today: Proceedings*, v. 5, n. 5, p. 13406-12. DOI: 10.1016/j.matpr.2018.02.334.

Hossain, N.U.I.; F. Nur; R. Jaradat et al. (2019) Metrics for assessing overall performance of inland waterway ports: a bayesian network based approach. *Complexity*, v. 2019, n. 3518705, p. 1-17. DOI: 10.1155/2019/3518705.

Hua, C.; J. Chen; Z. Wan et al. (2020) Evaluation and governance of green development practice of port: a sea port case of China, *Journal of Cleaner Production*, v. 249, p. 119434. DOI: 10.1016/j.jclepro.2019.119434.

Karolemeas, C.; S. Tsigdinos; P.G. Tzouras et al. (2021) Determining electric vehicle charging station location suitability: a qualitative study of greek stakeholders employing thematic analysis and analytical hierarchy process, *Sustainability (Basel)*, v. 13, n. 4, p. 2298. DOI: 10.3390/su13042298.

Lameira, P.I.D.; T.C.G.M. Filgueiras; R.C. Botter et al. (2020) An approach using multicriteria decision methods to barges configuration for pushed convoys in the Amazon, *International Journal of Information Technology & Decision Making*, v. 19, n. 1, p. 317-41. DOI: 10.1142/S0219622019500482.

Lim, S.; S. Pettit; W. Abouarghoub et al. (2019) Port sustainability and performance: a systematic literature review, *Transportation Research Part D, Transport and Environment*, v. 72, p. 47-64. DOI: 10.1016/j.trd.2019.04.009.

Lootsma, F.A. (1993) Scale sensitivity in the multiplicative AHP and SMART, *Journal of Multi-Criteria Decision Analysis*, v. 2, n. 2, p. 87-110. DOI: 10.1002/mcda.4020020205.

Lourenzutti, R. e R.A. Krohling (2015) TODIM based method to process heterogeneous information, *Procedia Computer Science*, v. 55, p. 318-27. DOI: 10.1016/j.procs.2015.07.056.

Marchesini, M.M.P. e R.L.C. Alcântara (2012) Conceituando o serviço logístico e seus elementos, *Revista de Ciencia y Tecnología*, v. 17, n. 33, p. 65-86. DOI: 10.15600/2238-1252/rct.v17n33p65-86.

Martins, P.G. e F.P. Laugeni (2005) *Administração da Produção* (2a ed.). São Paulo: Saraiva.

Mentzer, J.T.; R. Gomes e R.E. Krapfel (1989) Physical distribution service: a fundamental marketing concept, *Journal of the Academy of Marketing Science*, v. 17, n. 1, p. 53-62. DOI: 10.1007/BF02726354.

Ministério da Economia. (2021) PPA – Plano Plurianual 2016-2019. Relatório Anual de avaliação - 2019. Programa: Transporte Aquaviário. Disponível em: <https://www.gov.br/economia/pt-br/assuntos/planejamento-e-orcamento/plano-plurianual-ppa/arquivos/ppas-anteriores/ppa-2016-2019/arquivos/monitormaento-e-avaliacao-do-ppa/relatorio-de-avalicao-do-ppa-2019-avaliacao_dos_programas_tematicos.pdf> (acesso em 20/01/2023).

Ministério da Infraestrutura. (2017) No Dia Mundial dos Rios, Brasil comemora aumento de 11% no transporte de hidrovias. Disponível em: <https://www.gov.br/dnit/pt-br/assuntos/noticias/no-dia-mundial-dos-rios-brasil-comemora-aumento-de-11-no-transporte-por-hidrovias> (acesso em 20/01/2023).

Molavi, A.; G.J. Lim e B. Race (2020) A framework for building a smart port and smart port index, *International Journal of Sustainable Transportation*, v. 14, n. 9, p. 686-700. DOI: 10.1080/15568318.2019.1610919.

Oliveira, M.A. e T.S. Silva (2021) Análise de aptidão ambiental para a instalação de terminais hidroviários na Lagoa Mirim, *Revista Geosciências UNESP*, v. 40, n. 2, p. 445-57. DOI: 10.5016/geociencias.v40i02.15415.

Paz, T.S.R.; V.G. Rocha Junior; P.C.O. Campos et al. (2022) Hybrid method to guide sustainable initiatives in higher education: a critical analysis of Brazilian municipalities, *International Journal of Sustainability in Higher Education*, v. 24, n. 2, p. 299-316. DOI: 10.1108/IJSHE-07-2021-0281.

Pereira, R.S.; T.S. Gomides; M.S. Quessada et al. (2021) Fog-oriented hierarchical resource allocation policy in vehicular clouds. In *Proceedings of the 17th International Conference on Distributed Computing in Sensor Systems (DCOSS).* USA: IEEE, p. 212-19. DOI: 10.1109/DCOSS52077.2021.00044.

Peris-Mora, E.; J.M. Diez Orejas; A. Subirats et al. (2005) Development of a system of indicators for sustainable port management, *Marine Pollution Bulletin*, v. 50, n. 12, p. 1649-60. DOI: 10.1016/j.marpolbul.2005.06.048. PMid:16095626.

PIANC (2010) *PIANC Report N 111: Performance Indicators for Inland Waterways Transport User Guideline*. Bruxelas: InCom Working Group.

Pires Junior, F.C.M. e F.S. de Carvalho (2013) Multicriteria analysis of inland waterway transport projects: the case of the Marajó Island waterway project in Brazil, *Transportation Planning and Technology*, v. 36, n. 5, p. 435-49. DOI: 10.1080/03081060.2013.818273.

Rodrigues, K.T.; L.M. Welter; A.A. Longaray et al. (2020) Modelo multicritério para apoiar a certificação da qualidade nos portos catarinenses, *Revista Eletrônica de Estratégia & Negócios*, v. 13, n. 3, p. 52-83. DOI: 10.19177/reen.v13e0II202052-83.

Roy, B. (1968) Classement et Choix en Présence de Points de vue Multiples (la méthode Electre), *Revue Française d'Informatique et de Recherche Opérationnelle*, v. 2, n. 1, p. 57-75.

Saaty, T.L. (1977) A scaling method for priorities in hierarchical structures, *Journal of Mathematical Psychology*, v. 15, n. 3, p. 234-81. DOI: 10.1016/0022-2496(77)90033-5.

Saaty, T.L. (1991) Some mathematical concepts of the analytic hierarchy process, *Behaviormetrika*, v. 18, n. 29, p. 1-9. DOI: 10.2333/bhmk.18.29_1.

Saaty, T.L. (2008) Decision making with the analytic hierarchy process, *International Journal of Services Sciences*, v. 1, n. 1, p. 83. DOI: 10.1504/IJSSCI.2008.017590.

Saengsupavanich, C.; N. Coowanitwong; W.G. Gallardo et al. (2009) Environmental performance evaluation of an industrial port and estate: ISO14001, port state control-derived indicators, *Journal of Cleaner Production*, v. 17, n. 2, p. 154-61. DOI: 10.1016/j.jclepro.2008.04.001.

Sandrini Perin, J.; R.B. Partyka; J. Lana et al. (2020) Determinants of performance on container terminals, *Revista Eletrônica de Estratégia & Negócios*, v. 13, n. 3, p. 2-23. DOI: 10.19177/reen.v13e0II20202-22.

Slack, N.; S. Chambers e R. Johnston (2002) *Administração da Produção* (2a ed., Vol. 1). São Paulo: Atlas.

Solecka, K. e M. Kiciński (2022) A multi-criteria evaluation of applications supporting public transport users, *Energies*, v. 15, n. 10, p. 3493. DOI: 10.3390/en15103493.

Su, J. e M.M. Rogers (2012) The role of economic variables and CO 2 emissions in examining the efficiency of national transportation systems, *International Journal of Sustainable Transportation*, v. 6, n. 1, p. 48-66. DOI: 10.1080/15568318.2011.553985.

TCU (2006) *Relatório de Avaliação de Programa: Programa Manutenção de Hidrovias*. Brasília: Tribunal de Contas da União.

Thomé, A.M.T.; L.F. Scavarda e A.J. Scavarda (2016) Conducting systematic literature review in operations management, *Production Planning and Control*, v. 27, n. 5, p. 408-20. DOI: 10.1080/09537287.2015.1129464.

Weng, S.-S., K.Y. Chen e C.-Y. Li (2019) Application of the analytic hierarchy process and grey relational analysis for vendor selection of spare parts planning software, *Symmetry*, v. 11, n. 9, p. 1182. DOI: 10.3390/sym11091182.

Wiśnicki, B.; D. Dybkowska-Stefek; J. Relisko-Rybak et al. (2021) Methodology for determining the location of river ports on a modernized waterway based on non-cost criteria: a case study of the Odra River Waterway, *Sustainability (Basel)*, v. 13, n. 6, p. 3571. DOI: 10.3390/su13063571.

Zalewski Porto, S.L. (2019) Avaliação da Eficiência Portuária – Sistema de Medição de Desempenho (SMD), *Revista Gestão & Sustentabilidade Ambiental*, v. 8, n. 1, p. 832-47. DOI: 10.19177/rgsa.v8e12019832-847.